

پهنه بندی مناطق در معرض پیشروی سطح آب دریا در اثر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: بندر شهید رجایی)

حمید گهرنژاد*^۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۲/۲۷

صفحات: ۸۵-۱۰۱

چکیده

براساس آخرین یافته‌ها افزایش سطح آب اقیانوس‌ها و دریاها متاثر از پدیده تغییر اقلیم می‌باشد و این افزایش سطح آب دریاهای آزاد اثرات مستقیم بر زندگی ساحل‌نشینان خواهد داشت. در مطالعه حاضر اثرات تغییر اقلیم بر افزایش سطح آب در تنگه هرمز مورد بررسی قرار گرفته است. برای پیش‌بینی تغییرات سطح آب در منطقه مذکور از متغیرهای اقلیمی استفاده گردیده است که براساس روش رگرسیون گام‌به‌گام انتخاب شده‌اند. اثرات تغییر اقلیم با مدل چرخه عمومی جو تحت عنوان CGCH3 که شامل دو سناریوی تغییر اقلیم A1B و A2 می‌باشد، ارزیابی شده است. برای بررسی ارتباط بین متغیرهای اقلیمی و تغییرات سطح دریا مدل شبکه عصبی مصنوعی-موجک مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج بیانگر میزان افزایش سطح آب دریا تا انتهای قرن حاضر در مجاورت تنگه هرمز برای سناریوی تغییر اقلیم A1B بین ۶۴ تا ۷۵ سانتیمتر و برای سناریوی تغییر اقلیم A2 بین ۹۰ تا ۱۰۵ سانتیمتر می‌باشد. همچنین نواحی ساحلی که تحت تاثیر افزایش ارتفاع آب قرار خواهند گرفت نیز بر روی نقشه مشخص گردید که نشان می‌دهد تغییرات سطح آب در این منطقه دارای آسیب‌پذیری بالایی نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی: سناریوی تغییر اقلیم، افزایش سطح دریا، بندر شهید رجایی، شبکه عصبی مصنوعی-موجک

^۱ عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، مرکز تحقیقات علوم زیست محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، ایران
Hgn1982@gmail.com

مقدمه

جهانی سطح آبهای آزاد تحت سناریوهای مختلف احتمالی تغییر اقلیم، نشان می‌دهد خطر سیل در مناطق ساحلی در اثر افزایش تراز آب دریاها افزایش یافته و بسته به این افزایش تراز سطح آب، میزان آسیب‌پذیری سواحل و بنادر نیز متغیر خواهد بود (Houghton et al., 2001). از این رو ارزیابی روند تغییرات سطح آب دریا در سال‌های آتی از اهمیت بسیار بالایی در برنامه‌ریزی مناطق ساحلی برخوردار است، که در ادامه به سابقه مطالعات در این رابطه پرداخته می‌شود.

پانل بین‌المللی تغییر اقلیم از اولین نهادهایی بود که پیش‌بینی تغییرات متوسط سطح آب دریاها را انجام داد. با استفاده از مدل‌های مختلف و تحت سناریوهای احتمالی تغییر اقلیم که در جدول (۱) ارائه شده است سطح آب دریاها تا سال ۲۱۰۰ میلادی پیش‌بینی شده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهند، افزایش تراز سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها طی یک قرن گذشته بر اثر گرم شدن جو کره زمین، ذوب شدن توده‌های عظیم یخی، انبساط آب‌ها می‌باشد. در این رابطه پیش‌بینی‌هایی در خصوص افزایش سرعت بالآمدگی تراز کلی دریاها طی قرن آتی وجود دارد. چنانچه این امر اتفاق بیافتد، اثرات آن در خط ساحلی قابل ملاحظه خواهد بود. این افزایش سطح آب دریاها در زندگی مردم و اقتصاد نواحی ساحلی به خصوص در مناطق پست مجاور دریا که همواره پتانسیل سیل بالایی دارند، تأثیر قابل توجهی خواهد داشت. ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق ساحلی ناشی از بالا آمدن سطح دریا و استفاده از استراتژی‌های مناسب، مسائل کلیدی در مواجهه با اثرات تغییر اقلیم است. پیش‌بینی تغییرات

جدول (۱) مقایسه نتایج پیش‌بینی سطح آب دریاها با سناریوهای تغییر اقلیم و مدل‌های مختلف (متر)

A1F1	A2	A1T	A1B	B2	B1	تخمین افزایش سطح آب
۰/۱۱ - ۰/۶۷	۰/۱۶ - ۰/۷۴	۰/۱۸ - ۰/۸۶	۰/۱۳ - ۰/۶۹	۰/۱۱ - ۰/۶۵	۰/۰۹ - ۰/۵۷	IPCC-TAR ^۲
۰/۳۶ - ۰/۵۹	۰/۲۳ - ۰/۵۱	۰/۲۰ - ۰/۴۵	۰/۲۱ - ۰/۴۸	۰/۲۰ - ۰/۴۳	۰/۱۸ - ۰/۳۸	IPCC-AR4 ^۳
۱/۰۱	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۷۹	۰/۷۰	روش نیمه تجربی (استفاده از مدل TAR) ^۴
---	۰/۶۸ - ۰/۸۹	---	۰/۶۲ - ۰/۸۸	---	۰/۵۴ - ۰/۷۵	روش نیمه تجربی (استفاده از مدل AR4) ^۵

^۲ 1990 to 2100 [IPCC, 2001] (m)

^۳ 1980-1999 to 2090-2099 [IPCC, 2007]

^۴ 1990 to 2100, courtesy of S. Rahmstorf

^۵ 2001-2005 to 2100. Both the mean value and the range across the 11 GCMs are shown

Ginsted et al., 2009 با استفاده از سناریوهای مختلف تغییر اقلیمی مقادیر تغییر سطح آب دریاها را تا سال ۲۱۰۰ بین ۳۸ تا ۲۱۸ سانتیمتر پیش‌بینی نمود. Verneer and Rahmstorf, 2009 طی مطالعه‌ای بر روی تغییرات دمای کره زمین و با توسعه مدل نیمه تجربی Rahmstorf, 2007 پیش‌بینی نمودند سطح آب دریاها طی سده حاضر بین ۷۶ تا ۱۹۰ سانتیمتر بازاء سناریوهای احتمالی تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت. در جدول (۲) نتایج پیش‌بینی تغییرات سطح آب دریاها تا سال ۲۱۰۰ میلادی که توسط محققان و موسسه‌های تحقیقاتی صورت گرفته است ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود متوسط تغییرات سطح آب حداقل ۱۲ سانتیمتر و حداکثر ۲۲۰ سانتیمتر می‌باشد. شایان ذکر است هیچکدام از تحقیقات کاهش سطح آب دریاها را پیش‌بینی ننموده‌اند.

نتایج ارائه شده حاکی از افزایش متوسط سطح آب دریاها تا انتهای قرن حاضر دارد. این مسئله را نیز نباید از یاد برد که تغییرات سطح آب دریاها در سراسر کره زمین باهم برابری نمی‌کند. Bindoff et al., 2007 با استفاده از نتایج تحلیل داده‌های ثبت شده توسط ابزارهای اندازه‌گیری جذر و مد و تکنولوژی‌های سنجش از دور ماهواره‌ای نشان داد که تغییر سطح دریا در مناطق مختلف کره زمین متفاوت است.

همانطور که پیش‌تر بیان گردید، براساس مطالعات صورت گرفته توسط پانل بین‌المللی تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۷ افزایش سطح آب دریاها تا انتهای قرن حاضر رقمی مابین ۱۸ تا ۸۷ سانتی متر خواهد بود. در این میان برخی دیگر از تحقیقات ارقامی متفاوت را برای افزایش تراز سطح آبهای آزاد پیش‌بینی نموده‌اند.

Rahmstorf, 2007 رابطه نیمه تجربی براساس افزایش جهانی سطح دریا و میانگین دمای کره زمین ارائه نموده است. در این رابطه پیشنهاد شده است که برای مقیاس‌های زمانی مربوط به گرم شدن کره زمین، نرخ افزایش سطح دریا تقریباً متناسب با افزایش دمای کره زمین باشد. متوسط افزایش سطح دریاها طی قرن حاضر براساس مدل ایشان بین ۵۳ تا ۱۳۷ سانتیمتر می‌باشد.

Pfeffer et al., 2008 بر اساس مدل‌سازی آب و هوا و مقایسه با شرایط گذشته، پتانسیل افزایش تراز آب دریاها در پایان قرن ۲۱ را مورد مطالعه قرار دادند. با بررسی تمام فرضیات افزایش سطح آب نتیجه گرفتند که افزایش بیش از ۲ متر از نظر فیزیکی غیرقابل دفاع است. براساس پیش‌بینی آنها تغییرات سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها تا انتهای قرن حاضر بین ۴۰ تا ۸۰ سانتیمتر خواهد بود.

Horton et al., 2008 رابطه نیمه تجربی بین دمای هوا در سطح جهانی و متوسط سطح دریا که برای اولین بار توسط Rahmstorf, 2007 ارائه شده بود را با جدیدترین نسخه از مدل‌های آب و هوایی جهانی مورد بررسی قرار دادند. نتایج بدست آمده طیف گسترده‌تری از پیش‌بینی افزایش سطح دریا توسط IPCC-AR4 را ارائه داد.

جدول (۲) خلاصه نتایج پیش‌بینی تغییرات سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها توسط منابع مختلف تحقیقاتی

میزان افزایش سطح آب تا سال ۲۱۰۰ میلادی (متر)		محقق یا انجمن تحقیقاتی پیش‌بینی‌کننده
حداکثر	حداقل	
۲/۰	۰/۸	Pfeffer et al. (2008)
۱/۴	۰/۵	Rahmstorf, (2007)
۱/۰	۰/۵	Horton et al. (2008)
۲/۲	۰/۳	Grinsted et al. (2009)
۱/۹	۰/۷۵	Verneer and Rahmstorf (2009)
۱/۶	۰/۶	Jevejeva et al. (2010)
۱/۵	۰/۶	Department of Climate Change, Australia
۰/۹	۰/۹	Dept of Environment, climate change & water, NSW
۰/۸	۰/۸	Department of Environment & Resource Management, ueensland
۱/۴	۱/۰	California Climate Change Center, USA
۰/۷۶	۰/۱۲	DEFRA, UK
۱/۲	۰/۵۵	Deltacommissie, The Netherlands
۱/۴	۰/۵	United Nations Environment Programme
۱/۵	۰/۵	International Alliance of Research Universities

مطالعات فوق تغییرات جهانی سطح آب را دربر می‌گرفت. مطالعاتی نیز درخصوص پیش‌بینی تغییرات سطح آب بصورت منطقه‌ای نیز صورت گرفته است که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

Carley et al., 2008 به مطالعه محدوده‌ای در منطقه تاسمانی استرالیا پرداختند که طرح احداث بیمارستانی در آن محل مقرر گردیده بود. آنها تحت دو سناریو تغییر اقلیم متوسط و حداکثری به پیش‌بینی تغییرات سطح دریا تا سال ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ پرداختند. مطالعات آنها نشان داد که میزان افزایش سطح آب تا سال ۲۰۵۰ و تحت سناریوی تغییر اقلیم متوسط و حداکثر به ترتیب برابر با ۰/۲ و ۰/۴ متر بود. این افزایش برای سال ۲۱۰۰ نیز به ترتیب برابر با ۰/۵ و ۰/۹ متر خواهد بود. آنها سپس به پهنه بندی این افزایش تراز آب در محدوده مورد مطالعه پرداختند.

Cayan et al., 2009 به بررسی افزایش تراز آب تحت سه سناریوی تغییر اقلیم و با استفاده از مدل‌های عددی

پرداختند. براساس مطالعات ایشان میزان تغییرات سطح آب در سواحل کالیفرنیا بازا سناریوهای تغییر اقلیم B1، A2 و A1fi به ترتیب برابر با ۵۳/۹، ۶۰/۵ و ۷۱/۶ سانتیمتر خواهد بود.

Makarynska & Makarynsky, 2008 تغییرات سطح دریا جهت ایجاد سیستم هشدار در جزیره کوکوس (اقیانوس هند) است را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی تغییرات سطح دریا و با هشدار از ۱ ساعت تا ۵ روز بر اساس ساعات روز استفاده شد. تعداد لایه‌های ورودی سه لایه و سیستم پیشرو در شبکه‌های عصبی مصنوعی برای شبیه سازی سطح دریا اجرا شد. عملکرد شبکه‌های عصبی نتایج قابل اعتماد با ضریب همبستگی (۰/۸۵) - (۰/۹۵) را نشان داد.

Todd and Walton, 2007 در مقاله‌ای به بررسی میزان افزایش سطح آب در سواحل فلوریدا پرداخته است. او با بررسی مطالعات گذشته و با استفاده از یک مدل عددی به این نتیجه رسید که بسیاری از پیش‌بینی‌هایی که در

گذشته صورت گرفته است بطور نسبی در حال افزایش بوده و لزوم بازنگری در مطالعات وجود دارد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نشان داد بالا آمدن سطح آب دریاها برای فلوریدا طی سال‌های آینده و تا سال ۲۰۸۰ شتاب سریعتری خواهد گرفت.

Domingues et al., 2008 طی مقاله‌ای که در مجله Nature به چاپ رسانیدند به بررسی مباحث تغییر اقلیم و تغییرات بودجه انرژی در کره زمین بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۳ پرداختند. براساس مطالعات این گروه مشخص شد که که میزان تغییرات گرمای درونی اقیانوس‌ها با میزان تغییرات سطح آب در این دوره مطابقت بسیار مناسبی دارند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی در طی دهه‌های اخیر بعنوان ابزاری مفید و قابل اعتماد جهت مدل‌سازی نگاشت‌های پیچیده‌ی موجود بین متغیرهای مختلف، شناخته شده و مورد توجه قرار گرفته‌اند. شبکه‌های عصبی با استفاده از مجموعه‌های ورودی و خروجی روابط موجود بین آنها را تخمین زده و اصطلاحاً آموزش می‌بینند، بنحوی که پس از آن به ازای یک عضو جدید از مجموعه ورودی، خروجی متناظر آن را تقریب می‌زنند. این مدل‌ها امروزه در زمینه‌ی علوم مرتبط با تغییر اقلیم نیز مانند بسیاری دیگر از شاخه‌های علوم، جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند.

شبکه‌های عصبی مصنوعی به طور گسترده‌ای در مهندسی دریا و اقیانوس‌شناسی به کار برده شده است و بسیاری از محققان از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش بینی ارتفاع سطح آب دریاها استفاده کرده اند.

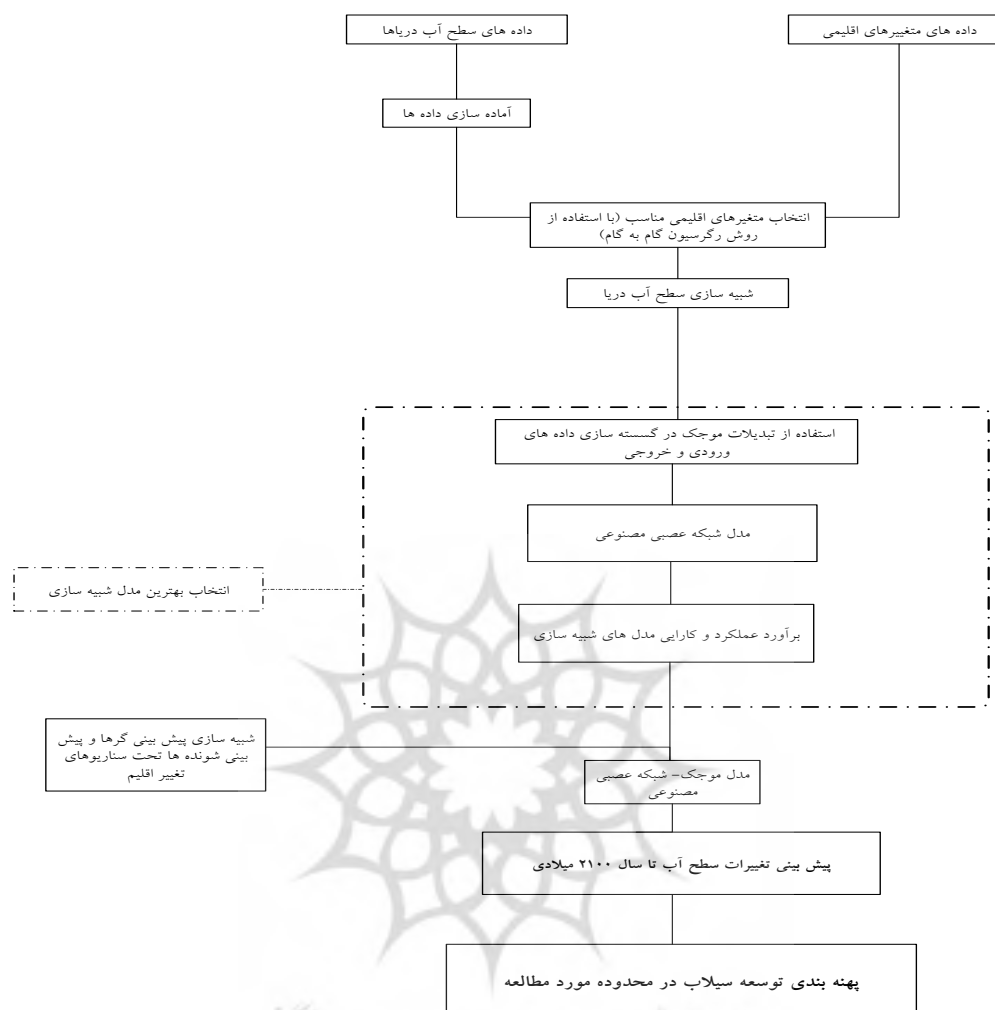
Jain and Deo, 2006 کاربرد های مختلفی از این شبکه‌ها را در جنبه‌های متفاوت مهندسی اقیانوس را ارائه کردند. Deo and Naidu, 1999 نتایج پیش بینی شبکه‌های عصبی مصنوعی و اتورگرسیو را باهم مقایسه کردند. آنها دریافتند که مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی از مدل اتورگرسیو دقیق‌تر است. Deo et al., 2001 از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش بینی ارتفاع موج و پرپود متوسط استفاده کردند. آنها فقط سرعت باد را به عنوان ورودی به کار بردند و با بکارگیری الگوریتم‌های آموزش گوناگون و رسیدن به یک الگوریتم مناسب دریافتند که

مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی در آبهای عمیق باز وقتی فواصل نمونه‌برداری و پیش‌بینی بزرگ هستند، نتایج رضایت بخشی ارائه می‌دهند. Tsai et al., 2002 نیز برای پیش‌بینی سطح دریا و امواج متناظر و مقایسه با داده‌های مشاهداتی ثبت شده از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده کردند. آنها نشان دادند که عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش بینی امواج دریایی و تکمیل داده های ثبت شده قابل قبول بوده است.

هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روند تغییرات سطح آبهای آزاد در تنگه هرمز و بررسی میزان آسیب‌پذیری این ناحیه در اثر افزایش تراز آب می‌باشد. در ادامه به شرح روش پیشنهادی و سپس مطالعه موردی و داده‌های در نظر گرفته شده پرداخته خواهد شد. پس از آن نتایج مطالعه مورد بحث قرار گرفته و در پایان خلاصه و نتیجه‌گیری ذکر شده است.

۱- روش‌شناسی

داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های اندازه‌گیری در سراسر کره زمین نشان دهنده روند صعودی افزایش سطح آب دریاها و اقیانوس‌ها در مناطق مختلف کره زمین می‌باشد، که عمدتاً به اثرات تغییر اقلیم نسبت داده می‌شود. مطالعات روی تغییرات سطح آب دریاها نشان دهنده ارتباط نسبتاً قوی بین تغییرات متغیرهای اقلیمی و تغییرات سطح آب دریا است. لذا در این مطالعه سعی بر آن است تا با شناسایی و استفاده از متغیرهای اقلیمی مناسب، روند تغییرات سطح آب دریا در خط ساحلی جنوب ایران در ۱۰۰ سال آینده و تحت سناریوی تغییر اقلیم شناسایی و مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد. برای این منظور پس از شناسایی متغیرهای اقلیمی موثر با تحلیل همبستگی، از روش شبیه‌سازی ترکیبی موجک-شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی تغییرات آبی سطح آب دریا استفاده شده است. در شکل ۱، ساختار روش پیشنهادی برای بررسی تغییرات سطح دریا تحت تأثیر تغییر اقلیم در نشان داده شده است. در ادامه مراحل و گام‌های اصلی این فرآیند تشریح می‌گردند.



شکل ۱- ساختار و مراحل مطالعات برای پیش‌بینی تغییرات سطح دریا با لحاظ اثرات تغییر اقلیم

۲-۱- آماده‌سازی داده‌ها

اولین گام در توسعه مدل‌های پیش‌بینی، آماده‌سازی و بررسی صحت و کیفیت داده‌ها می‌باشد. در این تحقیق برای تکمیل سری زمانی مورد استفاده در مدل‌سازی و تخمین داده مفقوده سطح آب، Y_x در ایستگاه x از داده‌های ایستگاه‌های مجاور با روش معکوس مربع فاصله به شرح زیر استفاده شده است:

$$Y_x = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \times W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (1)$$

که $\omega_i = \frac{1}{D_i^2}$ وزن ایستگاه i مورد استفاده جهت تکمیل نقصان داده‌های ایستگاه x ، L_i ارتفاع سطح آب ثبت شده

در ایستگاه i ، D_i فاصله بین ایستگاه i و x و n تعداد ایستگاه‌های همسایه ایستگاه x است.

۲-۲- انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌ها

با بررسی همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و داده‌های تغییر سطح دریا، متغیرهای مناسب پیش‌بینی‌کننده تغییرات سطح دریا انتخاب می‌شوند. بعضی از متغیرهای اقلیمی وابستگی قابل توجهی با تغییرات سطح دریا از خود نشان می‌دهند ولی از آنجاکه خود این متغیرها در ارتباط با سایر متغیرهای اقلیمی عمل می‌کنند، اطلاعات اضافی برای تحلیل تغییرات سطح دریا ارائه نمی‌دهند. برای در نظر گرفتن این مساله و حذف متغیرهای همسو و انتخاب متغیرهای مستقل □ از روش رگرسیون گام به گام جهت

تعیین پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیمی با حداکثر همبستگی و حداقل افزونگی استفاده می‌شود. در رگرسیون گام به گام حذف پسر و بعد از هر مرحله انتخاب پیشرو اجرا می‌شود تا متغیرهای اضافه از مدل حذف شوند. در هر مرحله آماره P-value برای ارزیابی مدل‌ها با و یا بدون در نظر گرفتن متغیر مورد بررسی محاسبه می‌شود تا در مورد اضافه و یا حذف شدن متغیر مورد بررسی تصمیم‌گیری شود. مراحل حذف پس‌خور و رگرسیون پیش‌خور تا جایی که دیگر نتوان در مدل تغییری ایجاد نمود، ادامه می‌یابد.

۲-۳- سناریوی اقلیمی

سناریوی اقلیمی عبارتند از خروجی مدل‌های اقلیمی که تحت سناریوهای متفاوتی که توسط پانل بین‌المللی تغییر اقلیم یا سایر موسسات معتبر علمی انتشار یافته است حاصل گردیده‌اند. نکته مهم اینست که سناریوهای انتشار یافته توسط این موسسات معتبر، سناریوهای اقلیمی نیستند. آنها غلظت گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها را در دهه‌های آینده مشخص می‌کنند در حالیکه سناریوهای اقلیمی وضعیت اقلیم را با توجه به این تغییرات بیان می‌کنند.

چهار دسته سناریوهایی که هر کدام در برگیرنده گونه‌ای متفاوت از مسائل ناشی از فعالیت‌های بشری مانند رشد اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، تکنولوژیکی، جمعیتی و زیست محیطی هستند، مبتنی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین تا پایان قرن حاضر ارائه شده‌اند و هر کدام از آنها نحوه انتشار این گازها را به گونه‌ای متفاوت پیش‌بینی و لحاظ می‌کنند. در ادامه به معرفی دو

سناریویی پرداخته شده است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۲-۳-۱- خانواده سناریوهای A1

در این خانواده فرض بر آینده‌ای با رشد سریع اقتصادی است. رشد جمعیت نیز تا اواسط قرن ادامه خواهد داشت و سپس روند کاهشی آن همراه با رشد سریع تکنولوژی تا پایان قرن می‌باشد. همچنین در این مجموعه انتظار می‌رود که دنیا به سمت جهانی شدن، ظرفیت‌سازی و ارتقا سطح فرهنگ و اقتصاد و کاهش تفاوت اساسی در درآمد سرانه مردم جهان حرکت کند و جهانی شدن بیشتر از راهکارهای منطق‌های مد نظر است. این خانواده مشتمل بر سه گروه سناریو می‌باشد، گروه سناریوهای A1FI که در آن فرض بر ادامه استفاده از سوخت‌های فسیلی است، گروه A1T که در آن عدم استفاده از سوخت‌های فسیلی مفروض است، و گروه A1B که در آن فرض بر برقراری تعادل میان استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی‌های نو حاکم می‌باشد (IPCC, 2007).

۲-۳-۲- خانواده سناریوهای A2

در این مجموعه جهانی ناهمگون که تکیه بر خود اعتمادی و حفظ ارزش‌های منطقه‌ای دارد مورد پیش‌بینی است. جمعیت جهان رو به رشد خواهد بود، در حالیکه الگوهای رشد با روند بسیار کندی حرکت خواهند نمود و رشد الگوهای اقتصادی بر پایه منطقه محوری خواهد بود (IPCC, 2007). در جدول (۳) خلاصه‌ای از ویژگی سناریوهای مطرح شده تا سال ۲۱۰۰ ارائه شده است.

جدول ۳. خلاصه‌ای از سناریوهای SRES در سال ۲۱۰۰ (نسبت به دوره مبنای ۱۹۹۰-۱۹۶۱) (IPCC, 2007).

سناریو	۱۹۹۰ (مبنا)	A1b	A2
جمعیت (بیلیون نفر)	۵/۲۵۲	۷/۱	۱۵/۱
غلظت CO2 (ppm)	۳۵۴	۵۶۹ - ۹۷۶	۸۵۷
تغییر متوسط دمای میانگین کره زمین (°C)	---	۲/۵ - ۴/۵	۳/۸
افزایش جهانی سطح آب دریاها (Cm)	---	۳۷ - ۴۹	۴۲
تولید ناخالص جهانی (\$۱۰۱۲)	۲۱	۵۲۵ - ۵۵۰	۲۴۳

۲-۴- مدل چرخه عمومی جو مورد استفاده

مدلهای چرخه عمومی جو در دهه شصت میلادی برای اولین بار بر اساس تحقیقات شخصی بنام فیلیپس معرفی و

به کار گرفته شدند. این مدل‌ها معادلات پیوستگی دینامیک سیال جو را در مقیاس‌های گسسته مکانی و زمانی حل می‌کنند. ساختار این مدل‌ها و مدل‌های پیش-بینی عددی آب و هوایی یکسان می‌باشد. اختلاف عمده این مدل‌ها در این است که پیش‌بینی‌های آب و هوایی در چند دوره کوتاه زمانی (در حد چند روز) با تعریف شرایط اولیه دقیق اجرا می‌شوند و دقت این مدل‌ها در حد منطقه‌ای با ابعاد کمتر از ۱۵۰ کیلومتر مربع است. اما شبکه‌ای که برای مدل‌های چرخه عمومی جو تعریف می‌شود چند طول و عرض جغرافیایی را در بر می‌گیرد و ممکن است برای شبیه‌سازی بلند مدت آب و هوایی که معمولاً مترادف با تغییرات اقلیمی است استفاده شوند.

یکی از موارد اصلی در استفاده از داده‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی جو این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آنها با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد ولی در خصوص مطالعات حاضر که به بررسی گستره وسیعی از سطح آب خلیج فارس و دریای عمان (ناحیه مربوط به تنگه هرمز) پرداخته است می‌توان به دقت کافی از نتایج این مدل‌ها استفاده نمود و نیازی در ریز مقیاس کردن این داده‌ها وجود نخواهد داشت. شایان ذکر است در تحقیق حاضر از نتایج مدل‌های چرخه عمومی جو، تحت دو سناریوی A2، A1b که در مرکز تحلیل و مدل‌سازی آب و هوای کانادا توسعه داده شده است، استفاده شده است.

۲-۵- شبیه‌سازی تغییرات سطح آب دریا

در مرحله بعد مدل‌های شبیه‌سازی سطح دریا توسعه داده می‌شوند. برای این منظور مدل شبیه‌سازی ترکیبی از تئوری موجک و مدل شبکه عصبی مصنوعی به نام مدل شبکه عصبی-موجکی (DWNN) مورد استفاده قرار گرفت. در این مدل از تئوری موجک برای تجزیه داده‌های ورودی و خروجی با استفاده از چند موجک ساده مادر استفاده شده و سپس داده‌های ورودی و خروجی تجزیه شده بوسیله موجک با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی مدل می‌شوند.

۲-۵-۱- تئوری موجک

تبدیل موجک یکی از تبدیلهای ریاضی کارآمد در زمینه پردازش سیگنال است. موجک‌ها دسته‌ای از توابع ریاضی هستند که برای تجزیه سیگنال پیوسته به مؤلفه‌های فرکانسی آن بکار می‌رود که رزولوشن هر مؤلفه برابر با مقیاس آن است. تحلیل موجکی قادر به نمایش جنبه‌های مختلف داده‌های متفاوت، نقاط شکست و ناپیوستگی‌ها می‌باشد که ممکن است دیگر روشهای تحلیل سیگنال آنها را نشان ندهند. موجک دارای سه مشخصه تعداد نوسان محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی در دامنه خود و میانگین صفر است (این سه ویژگی شرط لازم برای این است که تابعی بتواند به عنوان تبدیل موجکی عمل کند) که شرط مقبولیت نامیده می‌شود و به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\int \varphi(t) dt = 0 \quad (2)$$

که در آن $\varphi(t)$ تابع موجکی می‌باشد. در مباحث مربوط به موجک دو نوع تبدیل موجکی وجود دارد: ۱- تبدیل موجکی پیوسته (CWT) ۲- تبدیل موجکی گسسته. تبدیل موجکی پیوسته با رابطه زیر بیان می‌شود:

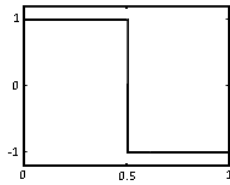
$$CWT_s^a(s, \varphi) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int S(t) \varphi_{s,t}^*(t) dt \quad (3)$$

رابطه فوق تابعی از دو متغیر s و τ است که τ نشان دهنده انتقال، s بیانگر مقیاس (عکس بسامد) و علامت * نشان دهنده مزدوج مختلط است. $S(t)$ نیز تابع موجک مادر می‌باشد. پارامترهای s و τ اعداد حقیقی هستند و s همیشه مثبت است که ممکن است مقادیر پیوسته یا گسسته به خود بگیرد. s و τ در تبدیل موجکی پیوسته دارای مقادیر پیوسته و در تبدیل گسسته دارای مقادیر گسسته هستند. $\varphi(t)$ تابع موجک مادر نامیده می‌شود. به عبارت دیگر موجک مادر، موجک اصلی برای تولید توابع پنجره دیگر است. کلیه توابع پنجره $\varphi_{s,t}^*(t)$ که از تابع مادر ساخته می‌شوند از رابطه زیر بدست می‌آیند (ضریب مقیاس با یکی از حروف a یا s نشان داده می‌شود).

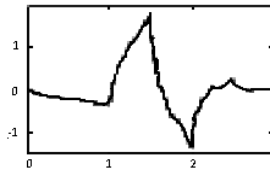
$$\varphi_{s,t}^*(t) = \varphi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (4)$$

مقیاس به طور ساده به معنای کشیده شدن یا فشردن شدن موجک می‌باشد و میزان کشش یا مدت زمان

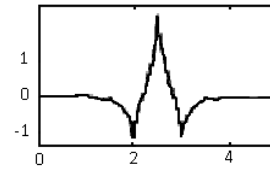
موجک را بیان می‌کند. انتقال موجک به طور ساده به مفهوم به تاخیر انداختن یا جلو انداختن موجک و بیان کننده موقعیت موجک روی محور زمان است. تبدیل گسسته موجکی جهت پیش پردازش و تحلیل سری های زمانی مناسب تر از تبدیل پیوسته موجکی می باشد، زیرا داده ها اجزای اضافی نداشته و بنابراین تبدیل معکوس موجک را می توان برای هر دسته از داده های زمان بسامد بکار برد. فرایند تجزیه سیگنال شامل یک یا چند مرحله



Haar wavelet (HAAR)



Daubechies wavelet (Db2)



Coiflet wavelet (Coif1)

شکل ۲- شماتیک توابع تبدیل موجک (Mallat, 1998)

پارامترهای معادله فوق همانند پارامترهای معادلات ۳ و ۵ می باشند.

در ادامه مطالعات و با توجه به پارامترهای انتخابی تحت دو سناریو اقلیمی CGCM3، به نام های A1b و A2 تغییرات سطح آب در ایستگاه شهیدرجایی که در تنگه هرمز قرار دارد مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از مدل مورد اشاره شبیه سازی انجام شد که نتایج ارائه شده است.

۲-۶- شاخص های برآورد عملکرد مدل

معیارهای مختلفی برای ارزیابی عملکرد مدل های پیش-بینی وجود دارند. در این مطالعه شاخص های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب همبستگی (R) و ضریب Nash-Sutcliffe (R^2_{NS}) به کار گرفته شدند که با استفاده از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (s_i - o_i)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (7)$$

(7)

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N s_i o_i - \sum_{i=1}^N s_i \sum_{i=1}^N o_i}{\left[\left(N \sum_{i=1}^N s_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N s_i \right)^2 \right) \left(N \sum_{i=1}^N o_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N o_i \right)^2 \right) \right]^{0.5}} \quad (8)$$

(8)

است که در تجزیه چند مرحله ای، موج پس از اولین مرحله تفکیک با تجزیه مجدد قسمت تقریبی، تجزیه موج ادامه می یابد. در این مطالعه برخی از موجک های مادر مثل Haar، Db2 (موجک Doibechies از مرتبه ۲) و Coif1 مورد استفاده قرار گرفتند که در شکل (۲) نمایش داده شده اند. جهت کسب اطلاعات بیشتر به (Mallat (1998) مراجعه شود.

۲-۵-۲- شبکه های عصبی مصنوعی

ساختار کلی مدل شبکه عصبی پیش خور^۷ به صورت زیر می باشد:

$$y = \varphi \left(\sum_{i=1}^n \omega_i x_i + b \right) \quad (5)$$

(5)

که در آن w_i وزن منطبق با متغیر ورودی x_i ، b (بایاس) (تعامل یکسویه)، φ تابع محرک و n تعداد متغیرهای ورودی است.

۲-۵-۳- شبکه عصبی مصنوعی موجک گسسته

مدل DWNN ترکیبی از تبدیل موجک و مدل ANN است. ترکیب موجک و شبکه عصبی الگوی جدیدی از هوش مصنوعی با نام شبکه عصبی- موجکی تشکیل می دهد که می تواند جایگزین مناسبی برای شبکه های عصبی انتشار برگشتی باشد.

$$y_{DWNN} = \varphi \left(\sum_{i=1}^n \omega_i \cdot CWT + b \right) \quad (6)$$

(6)

⁷ Feed forward

می‌دهند. واضح است که مقادیر نزدیکتر به یک برای (R^2_{NS}) و مقدار کوچک برای RMSE، بر عملکرد بهتر مدل دلالت دارند.

۲-۷- مطالعه موردی

تنگه هرمز دومین تنگه بین‌المللی شلوغ دنیاست. حدود ۶۸ درصد ذخایر شناخته‌شده نفت و گاز دنیا در خلیج فارس قرار دارد و امنیت تنگه هرمز نقش کلیدی در تأمین بی‌وقفه انرژی دنیا دارد. این منطقه شامل سه ناحیه عمده جمعیتی شامل بندر عباس- جزیره قشم و بندر شهید رجایی می‌باشد. در این مطالعه به بررسی اثرات افزایش سطح آب دریاها در مناطق شهری تنگه هرمز پرداخته خواهد شد. مشخصات ایستگاه ثبت تغییرات سطح دریا در منطقه تنگه هرمز در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- مشخصات ایستگاه ثبت تغییرات سطح دریا در منطقه تنگه هرمز

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	سال تاسیس ایستگاه (میلادی)	میانگین سطح آب (میلیمتر)	انحراف معیار (میلیمتر)
شهید رجایی	۲۷/۱۰	۵۷/۰۷	۱۹۸۹	۳۲۴۲/۶	۷۸/۶

بررسی در جدول (۵) آمده‌اند. متغیرهای اقلیمی فشار سطح دریا (SLP)، ارتفاع ژئوپتانسیل (GH)، دمای سطح دریا (SSR) و آب قابل تبخیر دریا (SPW) به عنوان پیش‌بینی‌گرهای تغییرات سطح دریا در بین ۲۵ متغیر اقلیمی شبیه‌سازی شده با CGCM3 انتخاب شدند. این متغیرها به عنوان ورودی‌های مدل شبکه عصبی-مصنوعی-موجک استفاده شدند.

جدول ۵- نتایج روش رگرسیون گام به گام بر روی پارامترهای اقلیمی CGCM3 جهت تعیین پیش‌بینی‌کننده‌های تغییرات

سطح آب در نوار ساحلی جنوب ایران

متغیر اقلیمی	P-Value	ضریب همبستگی (R)
ارتفاع سطح فشار ۵۰۰ هکتوپاسکال	۰/۰۲۲۲	۰/۶۸
دمای سطح دریا	۰/۰۰۱۳	۰/۴۰
فشار سطح دریا	۰/۰۱۱۴	۰/۶۰
آب قابل بارش	۰/۰۰۵۶	۰/۷۱

۳-۲- مدل شبکه عصبی مصنوعی موجک گسسته (DWNN)

$$R^2_{N.S.} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (9)$$

که در آن O_i مقدار مشاهده شده در گام زمانی i ام، S_i مقدار پیش‌بینی شده در گام زمانی i ام، N تعداد گام‌های زمانی و \bar{O}_i میانگین مقدار داده‌های مشاهداتی است. هرچه مقدار ضریب همبستگی بیشتر باشد، بیانگر عملکرد بهتر مدل خواهد بود و در کل پیش‌بینی‌های رضایت‌بخش دارای مقادیر ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۷ می‌باشند (Nourani et al., 2011). مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، برای سنجش صحت پیش‌بینی استفاده می‌شود که مقدار آن از صفر برای پیش‌بینی‌های کاملاً صحیح تا مقادیر مثبت بزرگ متناسب با میزان خطا افزایش پیدا می‌کند. شاخص (R^2_{NS}) از مقدار ۱ برای پیش‌بینی کامل به مقادیر منفی بزرگ کاهش می‌یابد. در کل مقادیر منفی (R^2_{NS}) نتایج پیش‌بینی غیرقابل قبولی را نشان

۱- نتایج و بحث و بررسی

۳-۱- انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌ها

از روش رگرسیون گام به گام جهت انتخاب مناسب‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های تغییرات سطح دریا استفاده گردید. متغیرهای اقلیمی با مقادیر بالاتر ضریب همبستگی و P_{Value} کمتر به عنوان پیش‌بینی‌کننده تغییرات سطح دریا در خطه ساحلی جنوبی ایران انتخاب شدند. نتایج این

$$NNH = \frac{NNI + NNO}{2}$$

(۱۰)

که در آن NNI تعداد نرون‌ها در لایه ورودی و NNO تعداد نرون‌ها در لایه خروجی است. با استفاده از رابطه فوق تعداد نرون‌ها در لایه پنهان برابر با ۲/۵ تخمین زده می‌شود. لذا مدل ANN (بدون در نظرگیری تبدیل موجک داده‌های ورودی و خروجی و تنها جهت تعیین تعداد لایه پنهان) با مقدار نرون لایه میانی بین ۲ تا ۴ مورد آزمون قرار گرفت. نتایج در جدول (۶) آمده‌اند. با توجه به این جدول، ۳ نرون در لایه پنهان منجر به بهترین پاسخ با کمترین مقدار RMSE و بیشترین مقدار ضرایب همبستگی R و R^2_{NS} شده است.

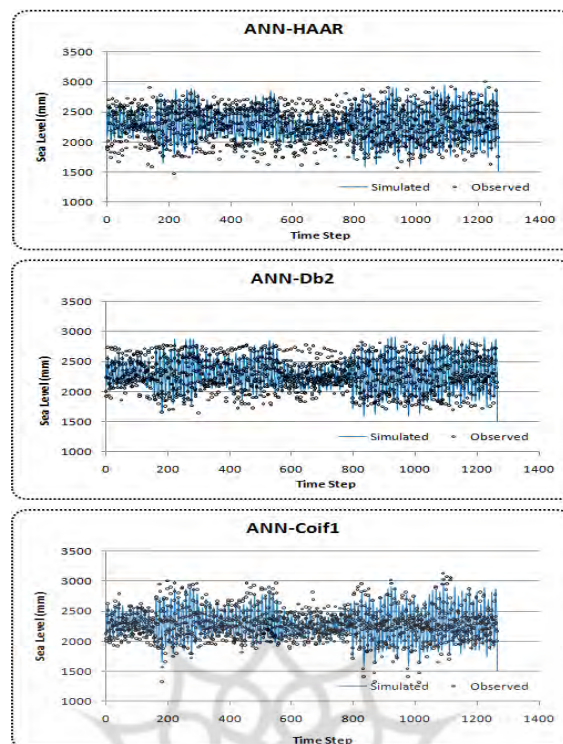
در بکارگیری مدل شبکه عصبی-مصنوعی-موجک، نخست پیش‌بینی‌کننده‌ها و سری‌های زمانی سطح دریا برای گذر بالا و گذر پایین با استفاده از سه تابع موجک گسسته به نام‌های Haar، Db2، Coif1 تجزیه شدند. ۸۰ درصد از داده‌های سری‌های تجزیه شده پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش-بینی‌شونده‌ها برای آموزش مدل ANN استفاده شدند و باقیمانده برای تست مدل مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها در هر مرحله بصورت تصادفی برگزیده شدند. مدل ANN مورد استفاده دارای یک لایه پنهان است. چهار نرون در لایه ورودی و یک نرون در لایه خروجی است. توابع انتقال ورودی لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی به ترتیب Tansig، Logsig و Pureline در نظر گرفته شدند. بر اساس مطالعات لیانگ و همکاران (۲۰۰۸) تعداد نرون‌ها در لایه پنهان (NNH) به روش زیر محاسبه می‌گردد:

جدول ۶- تخمین تعداد نرون‌های لایه پنهان در شبکه عصبی با استفاده از پارامترهای بررسی عملکرد مدل

تعداد نرون‌های لایه پنهان	R	R^2_{NS}	RMSE
۴	۰/۶۷	۰/۶۱	۰/۱۲۷
۳	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۱۰۴
۲	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۱۴۳

در شکل ۳، سری زمانی داده‌های استفاده شده و داده‌های شبیه‌سازی شده تغییرات سطح آب و همبستگی بین این داده‌ها نشان داده شده است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، این داده‌ها قبل از ورود به مدل شبکه عصبی توسط توابع گفته شده موجک مورد تجزیه قرار گرفته است.

چنانکه مشاهده می‌گردد، مقادیر شبیه‌سازی شده تغییرات سطح دریا با مقادیر مشاهداتی تطابق نسبتاً خوبی از خود نشان می‌دهند و شاید ضعیف‌ترین عملکرد مدل زمانی بوده است که از تابع تبدیل موجک HAAR جهت گسسته‌سازی داده‌ها استفاده شده است.



شکل ۳- نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی-موجک برای پیش‌بینی تغییرات سطح دریا در دوره صحت‌سنجی و اعتبار‌سنجی مقدار شاخص‌های عملکرد مدل در جدول (۷) بصورت جداگانه در دوره‌های کالیبراسیون و اعتبار‌سنجی ارائه شده‌اند. در این جدول نتایج کاربرد مدل شبکه عصبی-مصنوعی بدون گسسته‌سازی داده‌های ورودی و خروجی بوسیله توابع موجک نیز نشان داده شده‌اند. نتایج، بهبود قابل ملاحظه عملکرد مدل با استفاده از شکل ترکیبی از مدل شبکه عصبی مصنوعی و تابع تبدیل موجک حتی در بدترین مورد را نشان دادند. برطبق این مدل، عملکرد مدل‌های شبکه عصبی-مصنوعی-موجک که از Db2 و Coif1 استفاده می‌کنند مشابه هم بودند لیکن مدل Coif1 در دوره کالیبراسیون عملکرد بهتری داشت. بنابراین مدل Coif1 به عنوان بهترین مدل شبکه عصبی-مصنوعی-موجک برای شبیه‌سازی بالا آمدن سطح دریا در آینده تحت تأثیر تغییرات اقلیمی انتخاب شد.

جدول ۷- عملکرد مدل شبکه عصبی مصنوعی-موجک برای پیش‌بینی تغییرات سطح دریا در دوره صحت‌سنجی و اعتبار

سنجی

اعتبار‌سنجی			صحت‌سنجی			تابع موجک
R	R^2_{NS}	RMSE	R	R^2_{NS}	RMSE	
۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۱۶۵۸	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۱۳۲۷	Haar
۰/۶۷	۰/۶۴	۰/۱۵۴۷	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۱۱۷۹	Db2
۰/۶۸	۰/۶۴	۰/۱۵۸۶	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۱۰۴۳	Coif1
۰/۱۹	۰/۱۱	۰/۲۵۱۷	۰/۳۰	۰/۲۵	۰/۱۹۵۳	بدون استفاده از توابع گسسته‌سازی موجک

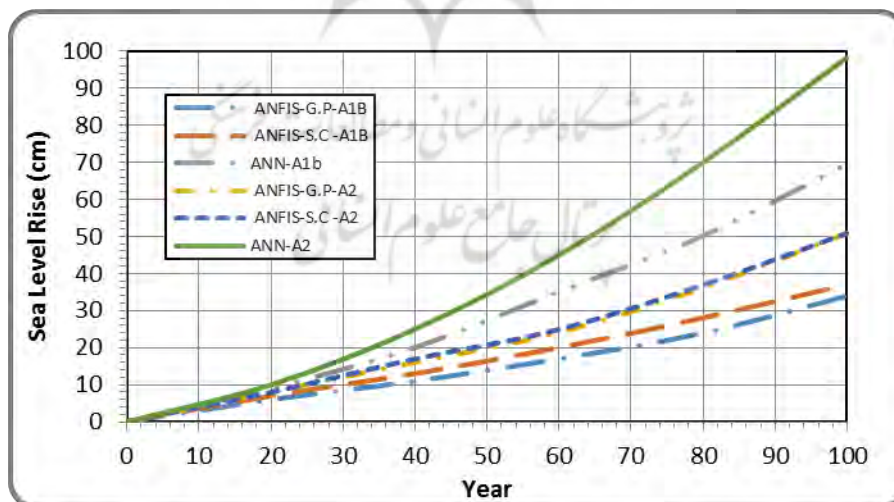
۳-۳- الگوی افزایش سطح آب در تنگه هرمز

ایستگاه شهیدرجایی در فاصله ۱۵۰۰ کیلومتری از تهران و در مجاورت یکی از بزرگترین بنادر تجاری ایران به همین نام واقع است. این ایستگاه در واقع حلقه اتصال بین خلیج فارس و دریای عمان محسوب می‌گردد و تنها ایستگاه ثبت سطح آب در تنگه هرمز محسوب می‌شود. این ایستگاه محدوده‌ای بین طول جغرافیایی ۵۶/۲۵ تا ۶۰/۰ درجه و عرض جغرافیایی ۲۶/۲۵ تا ۳۰/۰ درجه را تحت پوشش قرار می‌دهد. جهت بررسی تغییرات آب در

این محدوده داده‌های ۲ سناریوی تغییر اقلیم A1b و A2 مورد استفاده قرار گرفت. ابعاد شبکه سطحی CGCM3 نیز $3/75^{\circ} \times 3/75^{\circ}$ و طول و عرض جغرافیایی مربوط به این ایستگاه را تحت پوشش قرار می‌دهد. نتایج شبیه سازی تا سال ۲۱۰۰ برای روش شبکه عصبی مصنوعی-موجک مورد محاسبه قرار گرفت و در جدول (۸) ارائه شده است. تغییرات سطح آب نیز تا سال ۲۱۰۰ بازاء دو سناریوی تغییر اقلیم و توابع موجک در شکل ۴ ارائه شده‌اند.

جدول ۸- مقادیر افزایش ارتفاع سطح آب تا سال ۲۱۰۰ در ایستگاه شهید رجایی

سناریوی تغییر اقلیم	تابع موجک	افزایش سطح آب تا ۲۱۰۰ (میلادی (سانتیمتر))	میانگین افزایش سطح آب تا ۲۱۰۰ میلادی (سانتیمتر)
CGCM3A1B	HAAR	۷۵	۶۹
	Bb2	۶۴	
	Coif1	۶۹	
CGCM3A2	HAAR	۱۰۵	۹۸
	Bb2	۹۰	
	Coif1	۱۰۰	



شکل ۴- میانگین تغییرات سطح آب دریا برای مدل‌های مختلف و هر دو سناریوی تغییر اقلیم در ایستگاه شهید رجایی

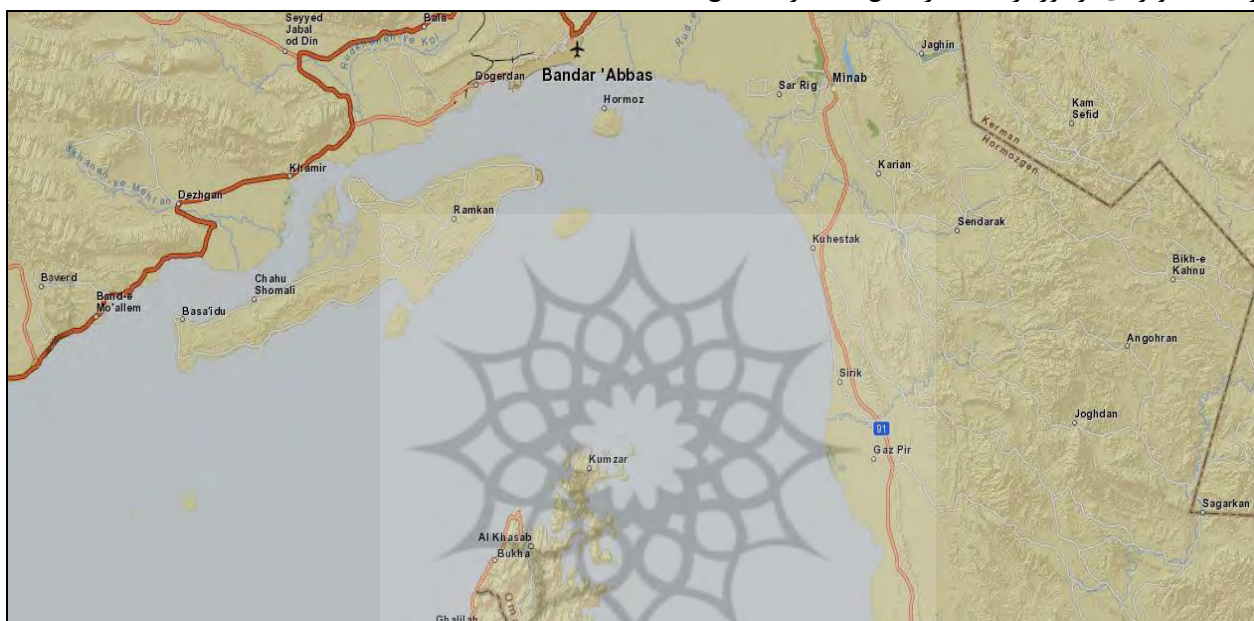
با توجه به نتایج تغییرات سطح آب که به ازاء مدل‌های مختلف در دو سناریوی تغییر اقلیم ارائه شده است، تغییرات سطح آب در ایستگاه شهید رجایی به ازاء سناریوی A1B بین ۷۵ تا ۶۴ سانتیمتر می‌باشد. در

سناریوی تغییر اقلیم A2 مقادیر تغییرات سطح آب بیش از سناریوی دیگر بوده و بین ۱۰۵ تا ۹۰ سانتیمتر پیش-بینی شده است. دامنه تغییرات در این سناریو در حدود ۱۵ سانتیمتر است.

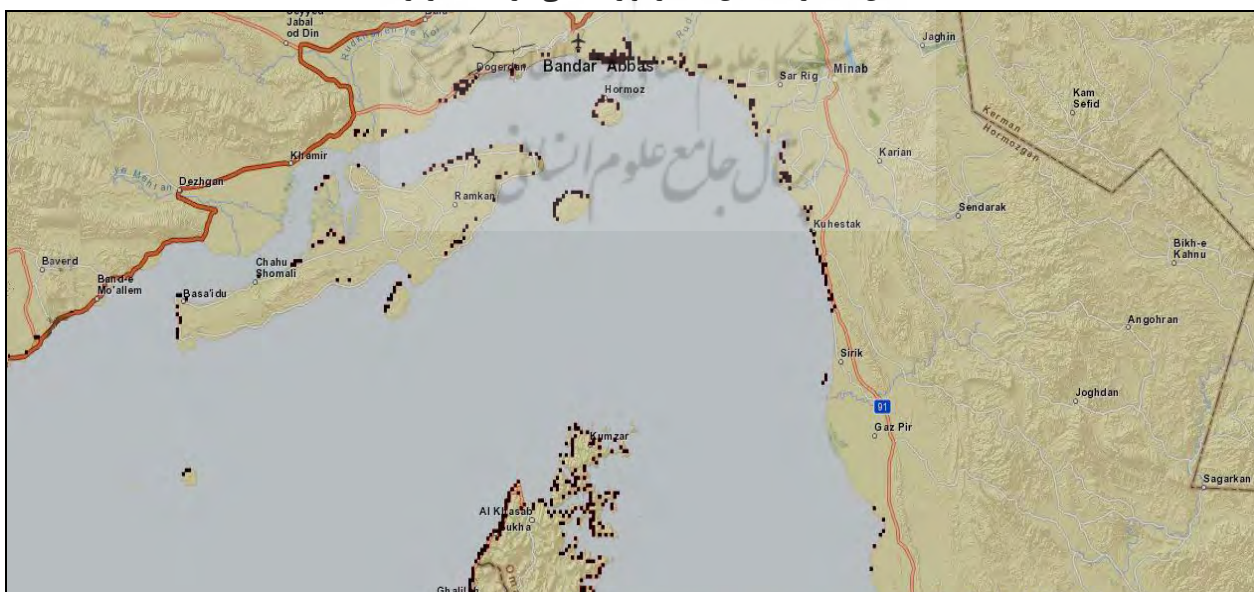
۴- پهنه‌بندی پیشرفت سطح آب در تنگه هرمز

اتصال خلیج فارس با دریاهای آزاد از طریق تنگه هرمز صورت می‌گیرد. از آنجاکه این منطقه یکی از حساس‌ترین نقاط دنیای امروز که نیازمند انرژی خلیج فارس می‌باشد، است بررسی آسیب‌پذیری سواحل ایران در این منطقه نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در شکل (۵) شرایط حال

حاضر منطقه نشان داده شده است. در شکل (۶)، میزان پیشروی آب در سواحل ایران در تنگه هرمز، مشخص شده است. در ارتباط با بندر شهید رجایی و بندر عباس به نظر می‌رسد این افزایش ارتفاع سطح آب به خودی خود مشکلی اساسی ایجاد ننماید. هرچند که اثرات این افزایش ارتفاع در ارتفاع امواج را نایست از نظر دور داشت.



شکل ۵- شرایط حال حاضر نوار ساحلی در تنگه هرمز



شکل ۶- شرایط نوار ساحلی در تنگه هرمز با در نظر گرفتن ۱ متر افزایش سطح آب دریاها تا سال ۲۱۰۰

۵- جمع بندی

تخمین صحیحی از تغییرات سطح آب دریا در موارد مختلفی از جمله مهندسی سواحل، کشتیرانی، فعالیت‌های تفریحی و توسعه سواحل و بنادر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از مطالعه حاضر ارائه الگوی کاربردی جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر افزایش سطح آب دریا بوده است. در این مطالعه از روش رگرسیون گام به گام برای انتخاب پیش‌بینی کننده‌های مناسب استفاده شد. برای مدلسازی تغییرات سطح آب دریا نیز از شبکه‌های عصبی مصنوعی-موجک استفاده شد. داده‌های ورودی که توسط موجک، گسسته‌سازی شده بودند بعنوان ورودی جهت شبیه‌سازی سطح آب دریا مورد استفاده قرار گرفتند. تغییرات سطح آب دریا در سواحل جنوبی ایران با استفاده از داده‌های اقلیمی (فشار در سطح آب، دمای سطح آب، ارتفاع ژئوپتانسیل و آب قابل بارش بر سطح سطح آب دریا مدل‌سازی گردید. بررسی‌ها نشان می‌دهد

که استفاده از موجک‌ها جهت تحلیل فرکانسی داده‌ها به افزایش دقت مدل‌ها کمک خواهد نمود و در بین توابع موجک مورد استفاده نیز تابع موجک Coif1 دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر توابع موجک خواهد بود. در خصوص افزایش سطح آب دریا در منطقه تنگه هرمز نیز، تحلیل‌های حاضر نشان می‌دهد، میانگین افزایش سطح دریا تا سال ۲۱۰۰ میلادی در ناحیه مورد مطالعه کمتر از یک متر خواهد بود. با توجه به نتایج تغییرات سطح آب که به ازاء مدل‌های مختلف در دو سناریوی تغییر اقلیم ارائه شده است، تغییرات سطح آب در ایستگاه شهید رجایی به ازاء سناریوی A1B بین ۶۴ تا ۷۵ سانتیمتر می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رفت، در سناریوی تغییر اقلیم A2 مقادیر تغییرات سطح آب بیش از سناریوی دیگر بوده و بین ۹۰ تا ۱۰۵ سانتیمتر پیش‌بینی شده است. این افزایش سطح آب می‌تواند اکوسیستم سواحل و مسائل اقتصادی را در آینده تحت تاثیر قرار دهد.

IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (eds Solomon, S. et al.) (Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York, 2007).

Jain, P., Deo, M.C., 2006. Neural networks in ocean engineering. *International Journal of Ships and Offshore Structures* 1, 25–35.

Jevrejeva, S., Moore, J. C. & Grinsted, A. *Geophys. Res. Lett.* doi:10.1029/2010GL042947 (in the press).

Liang, S.X., Li, M.C. and Sun, Z.C., 2008. Prediction models for tidal level including strong meteorologic effects using a neural network, *Ocean Engineering*, 35(7), 666-675.

Makarynskyy, O., Makarynska, D., Kuhn, M., Featherstone, W.E., 2004, Predicting sea level variations with artificial neural networks at Hillarys Boat Harbour, Western Australia, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 351–360

Mallat, S., 1998. *A Wavelet Tour of Signal Processing*. Academic Press. Elsevier, UK.

Nourani, V., Kisi, O., Komasi, M., 2011. Two hybrid Artificial Intelligence approaches for modeling rainfall–runoff process. *Journal of Hydrology*, 41–59

Pfeffer, W. T., Harper, J. T. & O'Neel, S. *Science* 321, 1340–1343 (2008).

Rahmstorf, S. *Science* 315, 368–370 (2007).

Todd, L., Walton, Jr., 2007. Projected sea level rise in Florida. *Ocean Engineering* 34, 1832–1840

Vermeer, M. & Rahmstorf, S. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 106, 21527–21532 (2009).

Domingues, C. M. et al. *Nature* 453, 1090–1093

Tsai, C.P., Lin, C., Shen, J.N., 2002. Neural network for wave forecasting among multi-stations. *Ocean Engineering* 29, 1683–1695.

منابع

Bindoff, N.L., Willebrand, J., Artale, V., et al., 2007. Observations: oceanic climate change and sea level. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., et al. (Eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 387–429.

Carley, J., Blacka, M., Cox, R., 2008, WRL Technical Report 2008/35

Cayan D.R., Bromirski P.D. and R.E. Flick, 2009: Decadal storminess variability along the California coast: 1858 - 2000, *J. Clim.*, 16, 982-993.

Deo, M.C., Jha, A., Chaphekar, A.S., Ravikant, K., 2001. Neural network for wave forecasting. *Ocean Engineering* 28, 889–898.

Deo, M.C., Naidu, C.S., 1999. Real time wave forecasting using neural networks. *Ocean Engineering* 26, 191–203.

Grinsted, A., Moore, J. C. & Jevrejeva, S. *Clim. Dynam.* 34, 461–472 (2009).

Hicks, S.S. and Hickman, L.E., 1988, United States Sea Level Variations through 1986., *Shore and Beach*, pp. 3-7

Horton, R. et al. *Geophys. Res. Lett.* 35, L02715 (2008)

Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Xiaosu, D. (Eds.), *Climate Change 2001: The scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 639–693.

Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, New York, NY.

Determining of Flood Plain Areas Due to Sea Level Rise (Shahid Rajaie Port)

Recent investigations have demonstrated the global sea level rise due to climate change impacts. Climate change study the effects of increasing water level in the strait between the Persian Gulf and the open sea can be studied data. The probable changes of sea level rise should be investigated to employ the adaption strategies. In this study the impact of climate change on sea level rise at the southern coastal line of Iran is evaluated. The climatic output data of a GCM (General Circulation Model) named CGCM3 under climate change scenario of A1b and A2 were used. Among different variables simulated by this model, those of maximum correlation with sea level changes in the study region and least redundancy among themselves were selected for sea level rise prediction by using stepwise regression. One models of Discrete Wavelet artificial Neural Network (DWNN) was developed to explore the relationship between climatic variables and sea level changes. In these models, wavelet was used to disaggregate the time series of input and output data into different components and then ANN was used to relate the disaggregated components of predictors and predictands to each other. The results showed in the Shahid Rajaie Station for scenario A1B sea level rise is among 64 to 75 cm and for the A2 Scenario sea level rise is among 90 to 105 cm. Furthermore the result showed a significant increase of sea level at the study region under climate change impacts, which should be incorporated in coastal areas management.

Keywords: Climate change scenarios; Sea-level rise; DWNN; Shahid Rajaie Port

